

(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成9年(1997)6月20日

C

審査請求 未請求 請求項の数4 OL (全 7 頁)

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

A cross-sectional view of a semiconductor device. The device consists of a substrate with two main regions, 1 and 2, separated by a horizontal interface. Region 1 is the bottom layer, and region 2 is the top layer. On the surface of region 2, there are four distinct structures labeled 10, 20, 30, and 40. Each structure is a stack of layers. Structure 10 has layers 51, 41, and 31. Structure 20 has layers 52, 42, and 32. Structure 30 has layers 53, 43, and 33. Structure 40 is a grid-like structure. The layers 31, 32, 33, and 34 are connected by a common layer 3. The layers 41, 42, 43, and 44 are connected by a common layer 4. The layers 51, 52, 53, and 54 are connected by a common layer 5.

【特許請求の範囲】

【請求項1】 同一基板上に互いにバンドギャップエネルギーが異なる窒化物半導体よりなる活性層を有する単位発光素子が、それぞれ隔離して形成されていることを特徴とする窒化物半導体多色発光素子。

【請求項2】 基板上に第一の活性層を有する窒化物半導体層を形成した後、第一の活性層とは別に、第一の活性層とバンドギャップエネルギーが異なる第二の活性層を有する窒化物半導体層を部分的に成長させることを特徴とする窒化物半導体多色発光素子の製造方法。

【請求項3】 基板上に第一の活性層を有する第一の窒化物半導体層を形成した後、その第一の窒化物半導体層の一部をエッチングにより除去し、エッチングにより露出された面に、第一の活性層とバンドギャップエネルギーが異なる第二の活性層を有する第二の窒化物半導体層を成長させることを特徴とする窒化物半導体多色発光素子の製造方法。

【請求項4】 前記第二の活性層のバンドギャップエネルギーが第一のバンドギャップエネルギーよりも小さいことを特徴とする請求項2または請求項3に記載の窒化物半導体多色発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は窒化物半導体 ($\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, $0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$) よりなるLED等の発光素子とその製造方法に係り、特に異なるバンドギャップエネルギーを有する窒化物半導体が同一素子内に形成された多色発光素子とその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】窒化物半導体はバンドギャップエネルギーが1.96eV～6.16eVまであり、この材料一つでフルカラーディスプレイが実現できる可能性があるため、従来より発光素子の材料として研究されている。そして最近、高輝度な青色LEDと純緑色に発光する緑色LEDが個々に実用化された。またこの材料を用いた同一発光素子内での多色発光素子の作製も試みられている。

【0003】例えば特開平6-53549号公報、特開平6-29574号公報に窒化物半導体よりなる多色発光素子が示されている。これらの公報では、バンドギャップエネルギーの異なるi型のInGa_{0.5}Nを活性層とし、この活性層をn型層の上に積層した多色発光素子が示されている。しかしこの技術は高抵抗なi型層を活性層とするため、発光効率が悪く実用性に乏しいという問題がある。

【0004】また、特開平7-183576号公報では低抵抗なInGa_{0.5}Nを活性層とした単一ダブルヘテロ構造を基板上に複数積層した多色発光素子が示されている。この技術はpn接合を複数積層するため、同一素子

内において発光素子がサイリスタになる可能性がある。また、前記技術と同様に電極を取り出すために多くのエッチング工程が必要となり製造工程上好ましくない。また活性層と基板との間に、バンドギャップエネルギーの異なる他の活性層が存在するので、単一色を発光させる場合に他の活性層が発光してしまう可能性がある。

【0005】LEDはチップの大きさが通常300μm角以上あるので、精細な画像を得ることは不可能である。そのためLEDディスプレイはスタジアム、劇場のような大画面を必要とする場所にしか使用できなかった。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】一個のチップで一画素が構成できれば精細な画像を実現することができる。また、細かい画素を多数含む一枚のウェーハで一画面を構成することも可能となる。従って本発明の目的とするところは、窒化物半導体を用いて多色発光できる素子とその製造方法を提供することにより、高精細なディスプレイを実現することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の多色発光素子は、同一基板上に互いにバンドギャップエネルギーが異なる窒化物半導体よりなる活性層を有する単位発光素子が、それぞれ隔離して形成されていることを特徴とする。

【0008】また本発明の多色発光素子の製造方法は、基板上に第一の活性層を有する窒化物半導体層を形成した後、第一の活性層とは別に、第一の活性層とバンドギャップエネルギーが異なる第二の活性層を有する窒化物半導体層を部分的に成長させることを特徴とする。

【0009】さらにまた、本発明の製造方法は基板上に第一の活性層を有する第一の窒化物半導体層を形成した後、その第一の窒化物半導体層の一部をエッチングにより除去し、エッチングにより露出された面に、第一の活性層とバンドギャップエネルギーが異なる第二の活性層を有する第二の窒化物半導体層を成長させることを特徴とする。

【0010】また本発明の製造方法において、第二の活性層のバンドギャップエネルギーが第一のバンドギャップエネルギーよりも小さいことを特徴とする。つまり波長の短い発光波長を有する活性層を先に成長させ、次に波長の長い活性層を成長させることを特徴とする。

【0011】図1は本発明の一実施例に係る多色発光素子の構造を示す模式的な断面図である。この発光素子は互いに分離独立して形成された3つのダブルヘテロ構造を有し、共通の基板1の上に、共通のn型コンタクト層2を有する。第一の構造はn型コンタクト層の上2に、第一の活性層31、第一のp型クラッド層41、第一のp型コンタクト層51を有する。第二の構造は第一の構造と独立して、第二の活性層32、第二のp型クラッド

層42、第三のp型コンタクト層52を有する。さらに第三の構造は、第一の構造及び第二の構造と独立して、第三の活性層33と第三のp型クラッド層43、第三のp型コンタクト層53とを有する。さらにn型コンタクト層2の表面には共通の負電極40が設けられ、p型コンタクト層51、52、53の表面にはそれぞれ正電極10、20、30とが設けられている。

【0012】基板1にはサファイア(Al_2O_3 、C面、A面、R面を含む)、スピネル(MgAl_2O_4 、111面を含む)、SiC、Si、GaN等窒化物半導体を成長させるために提案されている基板を使用できる。

【0013】n型コンタクト層2はn型の $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$) で構成することができ、特にGa_xNとするとキャリア濃度が高い層が得られ、負電極材料と好ましいオーミック接触が得られる。なおn型ドーパントとしては、例えばSi、Ge、Sn、Se等を使用でき、これらのn型ドーパントを半導体成長時にドーピングすることにより好ましいn型とできる。なおこのコンタクト層2はクラッド層としても作用している。

【0014】第一の活性層31、第二の活性層32、第三の活性層33はいずれもコンタクト層2、p型クラッド層41、42、43よりもバンドギャップエネルギーの小さい $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$) で構成することができ、好ましくは $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ とすると、紫〜赤色まで発光させることができる。さらにこの活性層に前記したn型ドーパント、および/またはMg、Zn、Cd、Be、Ca等のp型ドーパントをドーピングして発光波長を調整しても良い。特に好ましくはこの活性層を単一量子井戸(SQW:Single-Quantum-Well)構造、若しくは多重量子井戸(MQW:Multi-Quantum-Well)構造を有する $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x < 1$) とすると高出力な素子が得られる。SQW、MQWとはノンドープの InGaIn による量子単位間の発光が得られる活性層の構造を指し、例えばSQWでは活性層を単一組成の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x < 1$) で構成した層であり、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ の膜厚を10nm以下、さらに好ましくは7nm以下とすることにより量子単位間の強い発光が得られる。またMQWは組成比の異なる $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ (この場合 $x=0, x=1$ を含む) の薄膜を複数積層した多層膜とする。このように活性層をSQW、MQWとすることにより量子単位間発光で、約365nm〜660nmまでの発光が得られる。量子構造の井戸層の厚さとしては、前記のように7nm以下が好ましい。多重量子井戸構造では井戸層は $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ で構成し、障壁層は同じく $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($y < x$ 、この場合 $y=0$ を含む) で構成することが望ましい。障壁層の膜厚は15nm以下、さらに好ましくは12nm以下にすると高出力な発光素子が得られる。また、活性層31、32、33とn型コンタクト層2の間に、活性層よりもバン

ドギャップの大きいn型の窒化物半導体よりなるクラッド層を一層、または複数層形成しても良い。

【0015】次に、第一のp型クラッド層41、第二のp型クラッド層42、第三のp型クラッド層43はp型ドーパントがドーピングされて活性層よりもバンドギャップエネルギーの大きいp型 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$) で構成することができ、特に好ましくは $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ のように少なくともAlを含む窒化物半導体が活性層と接するようにすると高出力な素子が得られる。

【0016】次に第一のp型コンタクト層51、第二のp型コンタクト層52、第三のp型コンタクト層53も同じくp型ドーパントがドーピングされたp型 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$) で構成することができ、特にp型Ga_xNとすると高キャリア濃度のp型層が得られるので正電極の材料と好ましいオーミック接触が得られる。また本発明の発光素子において、p型コンタクト層とp型クラッド層との間、またはp型クラッド層と活性層との間に他のp型窒化物半導体よりなるクラッド層を形成しても良い。

【0017】

【作用】図1に示すように、本発明の発光素子は、異なるバンドギャップエネルギーを有する活性層41、42、43を含む単位発光素子がそれぞれ隔離して形成されている。このため、活性層41とn型コンタクト層2との間には、他のバンドギャップエネルギーを有する活性層が存在しない。しかも第一のp型コンタクト層51とn型コンタクト層2との間にはp-n接合が一ヶ所しかないため、電流を流しても発光素子として作用するのみであってサイリスタにならない。従って、全ての電極に電流を流した状態において、それぞれの活性層が独自のバンドギャップエネルギーに相当する発光を示すため、単一色でも混色することなく発光可能である。

【0018】さらに本発明の製造方法では、バンドギャップエネルギーの大きい活性層を先に成長させ、次にエネルギーの小さい活性層を成長させる。この理由はエネルギーの大きい活性層の方が分解しにくいことによる。例えば第一の活性層をIn組成の小さいInGaIn、第二の活性層をIn組成の大きいInGaInとすると、第二の活性層成長中に、先に成長させた第一の活性層が分解しにくい。このため、波長の揃った多色発光素子を実現できる。

【0019】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の製造方法について詳説する。以下の実施例は有機金属気相成長法による窒化物半導体の成長方法を述べており、図2乃至図8は本発明の実施例の一工程において得られる発光素子の構造を示す模式的な断面図である。

【0020】[実施例1] サファイア基板1の上に、原料ガスにTMG(トリメチルガリウム)、アンモニアを

用いて、500℃でGa₂Nよりなるバッファ層を200オングストロームの膜厚で成長させた。なおこのバッファ層は特に図示していない。バッファ層は他にAlN、GaAlN等が成長されるが基板の種類によっては成長されない場合もある。

【0021】次に温度を1050℃にして、原料ガスにTMG、アンモニア、不純物ガスとしてシランガスを用い、Siドーパ_n型Ga₂Nよりなる_n型コンタクト層2を10μmの膜厚で成長させた。

【0022】次に温度を800℃にして、TMG、TMI（トリメチルインジウム）、アンモニアを用い、ノンドーパのIn_{0.25}Ga_{0.75}Nよりなる第一の活性層31を20オングストロームの膜厚で成長させた。この第一の活性層31は膜厚が非常に薄いので量子効果により単一量子井戸構造となっている。この活性層は本来の組成であれば435nmに主発光波長を有しているが、量子効果と結晶の歪みにより、およそ450nmに発光する。

【0023】次に再び温度を1050℃にして、TMG、TMA（トリメチルアルミニウム）、アンモニア、不純物ガスとしてCp₂Mg（シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、Mgドーパ_p型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる第一の_p型クラッド層41を0.2μmの膜厚で成長させた。

【0024】続いて、TMG、アンモニア、Cp₂Mgを用い、Mgドーパ_p型Ga₂Nよりなる第一の_p型コンタクト層51を0.5μmの膜厚で成長させた。以上まで窒化物半導体を積層したウェーハの断面図が図2である。

【0025】ウェーハを反応装置から取り出し、最上層の第一の_p型コンタクト層51の一部にフォトリソグラフィ技術を用いて保護膜を形成し、第一の_p型コンタクト層51、第一の_p型クラッド層41、第一の活性層31、および_n型コンタクト層2の一部をエッチングにより除去し、_n型コンタクト層2の第一のエッチング面を露出させた。

【0026】次に、図3に示すように活性層を含む発光素子の表面にSiO₂よりなる第一のマスク70を形成した。第一のマスク70形成後のウェーハの部分的な構造を示す図が図3である。このマスクの表面には窒化物半導体は成長しない。

【0027】第一のマスクが形成されたウェーハを再び反応容器に設置し、第一のエッチング面の表面に、In_{0.45}Ga_{0.55}Nよりなる第二の活性層32を20オングストロームと、Mgドーパ_p型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる第二の_p型クラッド層42を0.2μmと、Mgドーパ_p型Ga₂Nよりなる第二の_p型コンタクト層52を0.5μmの膜厚で成長させた。この第二の活性層32はおよそ520nm付近の緑色発光を示す。成長後のウェーハの部分的な構造を示す図が図4である。

【0028】成長後、ウェーハを反応容器から取り出し、第一のマスク70をフッ酸で除去した後、先ほどと同様に、第一の活性層31と第二の_p型コンタクト層52の表面の一部に保護膜を形成した。さらに同様にして保護膜の上からエッチングを行い_n型コンタクト層2の第二のエッチング面を露出させた。

【0029】次に、図5に示すように、第一の活性層31を含む発光素子の表面と、第二の活性層32を含む発光素子の表面とにまたがって、SiO₂よりなる第二のマスク80を形成した。

【0030】さらに、図5に示すウェーハを再度反応容器に設置し、第二のエッチング面の表面に、In_{0.8}Ga_{0.2}Nよりなる第三の活性層33を20オングストロームと、Mgドーパ_p型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる第三の_p型クラッド層43を0.2μmと、Mgドーパ_p型Ga₂Nよりなる第三の_p型コンタクト層53を0.5μmの膜厚で成長させた。この第三の活性層33はおよそ620nm付近の赤色発光を示す。成長後のウェーハの部分的な構造を示す図が図6である。

【0031】成長後、ウェーハを反応容器から取り出し、第二のマスク80を除去した後、同様にして、第三の_p型コンタクト層53の表面の一部に保護膜を形成してエッチングを行い、負電極40を形成すべき_n型コンタクト層2の表面を露出させた。その後、保護膜を除去して、常法に従い第一の_p型コンタクト層51と、第二の_p型コンタクト層52と、第三の_p型コンタクト層53の表面に、それぞれ正電極10、20、30を形成した。また露出させた_n型コンタクト層2の表面にも同様にして負電極40を形成した。電極形成後、それぞれの活性層を有する発光素子が単位基板の上に一個づつ載るようにして、ウェーハをチップ状に切断して本発明の多色発光素子を得た。

【0032】この多色発光素子の負電極40を共通として、正電極10、20、30に所定の電流を流したところ、単一発光色は色純度良く再現でき、しかも混色も非常に良好な白色発光を示した。なお図9は本発明の一実施例に係る多色発光素子を電極側から見た具体的な平面図であり、図10は図9の発光素子の形状を示す斜視図である。なお図9及び図10は、図1乃至図8に示す断面図とは必ずしも対応しておらず、強いて対応させるならば図9に示す「コ」の字状の一点鎖線で切断して、一点鎖線を伸ばした状態が模式的な断面図に相当する。

【0033】〔実施例2〕図11は本発明の他の実施例による多色発光素子の構造を示す模式的な断面図である。この多色発光素子が実施例1の発光素子と異なる点は、エッチングを行わず選択成長によって、異なるバンドギャップエネルギーを有する活性層を含む発光素子を成長させている。つまり基板上に第一の活性層を有する窒化物半導体層を形成した後、第一の活性層とは別に、第一の活性層とバンドギャップエネルギーが異なる第二

の活性層を有する窒化物半導体層を部分的に成長させている。

【0034】まず、図12に示すようにサファイア基板の上にGa₂Nよりなるバッファ層を介して、Siドープn型Ga₂Nよりなるn型コンタクト層2を成長させ、その上にIn_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる第一の活性層31を成長させた後、ウェーハを反応容器から取り出す。

【0035】第一の活性層31の上に、SiO₂よりなる第四のマスク90を部分的に形成する。つまり、第一の活性層31を成長させる部分を除いてマスクを形成する。そしてマスクが形成されたウェーハを再度反応容器に戻し、n型コンタクト層2の上に第一の活性層31、第一のp型クラッド層41、第一のp型コンタクト層51を成長させる。成長後のウェーハの部分的な断面図が図12である。

【0036】成長後マスクを除去して、再び第一の活性層31、第一のp型クラッド層41、第一のp型コンタクト層51を含む発光素子全面と、n型コンタクト層2の表面の一部に第五のマスクを形成して、同様にして第二の活性層32、第二のp型クラッド層42、第二のp型コンタクト層52を成長させる。この工程以後の断面図は図12と類似しているため特に図示しない。

【0037】第二のp型コンタクト層を成長させた後、マスクを除去して同様にして、第三の活性層33、第二のp型クラッド層43、第三のp型コンタクト層53を成長させる。後は常法に従い、各コンタクト層に電極を設けることにより図11に示す構造の多色発光素子を得ることができる。

【0038】なお、実施例1、2はn型コンタクト層の上に数々の保護膜を形成した後、バンドギャップの異なる活性層を成長させる方法について述べたが、本発明の方法では、n型コンタクト層2と、第一の活性層31、第二の活性層32、及び第三の活性層33とをアイランド状に成長させ、それらの活性層の表面を除く部分に新たな保護膜を形成した後、p型クラッド層、p型コンタクト層を一度に形成しても良い。

【0039】

【発明の効果】以上説明したように本発明の多色発光素子は同一基板上に互いにバンドギャップエネルギーが異なる窒化物半導体よりなる活性層を有する単位発光素子が、隔離して形成されていることにより、単一発光色が混色せずに発光できる。しかも活性層を従来のように高

抵抗なi型とせず、低抵抗なInGa₂Nとして、ダブルヘテロ構造とすると低電圧で駆動でき、素子の効率が非常に優れている。このようにして一チップに複数の窒化物半導体の発光素子を作製することにより、一画素が小さくできるため高精細なディスプレイを実現する上で、本発明は非常に有利である。また一枚のウェーハ上に多数の電極を有する素子ができるため、チップ状にウェーハを分離せず、そのままウェーハの電極を接続してディスプレイとすることもできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例に係る多色発光素子の構造を示す模式断面図。

【図2】 本発明の方法の一工程において得られる素子の構造を示す模式断面図。

【図3】 本発明の方法の一工程において得られる素子の構造を示す模式断面図。

【図4】 本発明の方法の一工程において得られる素子の構造を示す模式断面図。

【図5】 本発明の方法の一工程において得られる素子の構造を示す模式断面図。

【図6】 本発明の方法の一工程において得られる素子の構造を示す模式断面図。

【図7】 本発明の方法の一工程において得られる素子の構造を示す模式断面図。

【図8】 本発明の方法の一工程において得られる素子の構造を示す模式断面図。

【図9】 本発明一実施例に係る素子を電極側から見た平面図。

【図10】 図9の素子の形状を示す斜視図

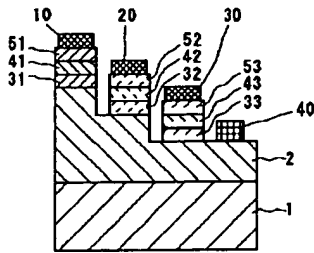
【図11】 本発明の他の実施例に係る素子の構造を示す模式断面図。

【図12】 本発明の方法の一工程において得られる素子の構造を示す模式断面図。

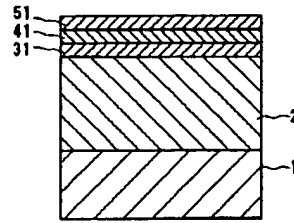
【符号の説明】

- 1・・・基板
- 2・・・n型コンタクト層
- 31、32、33・・・活性層
- 41、42、43・・・p型クラッド層
- 51、52、53・・・p型コンタクト層
- 10、20、30・・・正電極
- 40・・・負電極

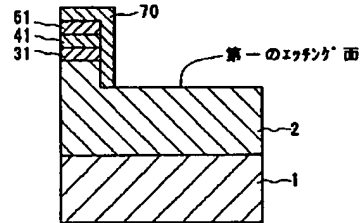
【図1】



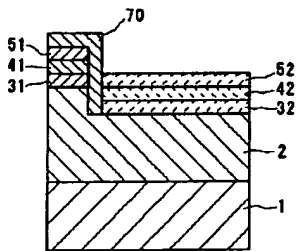
【図2】



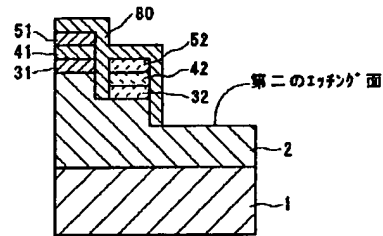
【図3】



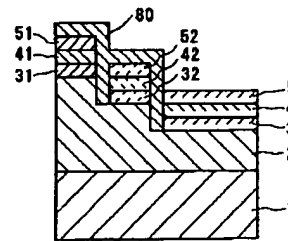
【図4】



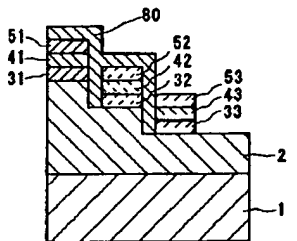
【図5】



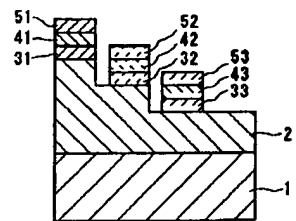
【図6】



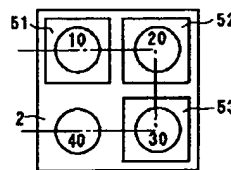
【図7】



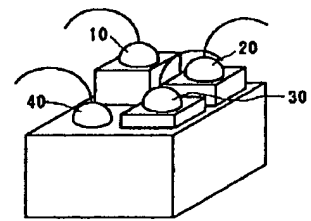
【図8】



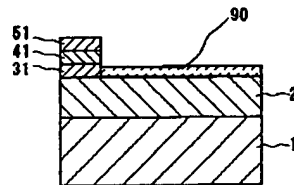
【図9】



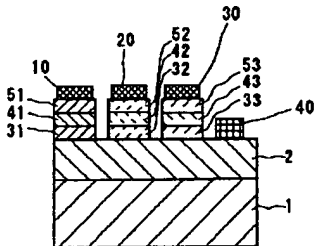
【図10】



【図12】



【図11】



【手続補正書】

【提出日】平成7年12月19日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 同一基板上に互いにバンドギャップエネルギーが異なる窒化物半導体よりなる活性層を有する単位発光素子が、それぞれ隔離して形成されていることを特徴とする窒化物半導体多色発光素子。

【請求項2】 基板上に第一の活性層を有する第一の窒化物半導体層を形成した後、第一の活性層とは別に、第一の活性層とバンドギャップエネルギーが異なる第二の活性層を有する第二の窒化物半導体層を部分的に成長させることを特徴とする窒化物半導体多色発光素子の製造方法。

【請求項3】 前記第一および第二の活性層とは別に、バンドギャップエネルギーが異なる第三の活性層を有する第三の窒化物半導体層を部分的に成長させることを特徴とする請求項2に記載の窒化物半導体多色発光素子の製造方法。

【請求項4】 基板上に第一の活性層を有する第一の窒

化物半導体層を形成した後、その第一の窒化物半導体層の一部をエッチングにより除去し、エッチングにより露出された面に、第一の活性層とバンドギャップエネルギーが異なる第二の活性層を有する第二の窒化物半導体層を成長させることを特徴とする窒化物半導体多色発光素子の製造方法。

【請求項5】 前記第二の窒化物半導体層の一部をエッチングにより除去し、エッチングにより露出された面に、前記第一及び第二の活性層とバンドギャップエネルギーが異なる第三の活性層を有する第三の窒化物半導体層を成長させることを特徴とする請求項4に記載の窒化物半導体多色発光素子の製造方法。

【請求項6】 前記第二の活性層のバンドギャップエネルギーが、第一の活性層のバンドギャップエネルギーよりも小さいことを特徴とする請求項2乃至請求項5の内のいずれか一項に記載の窒化物半導体多色発光素子の製造方法。

【請求項7】 前記第三の活性層のバンドギャップエネルギーが、第一および第二のバンドギャップエネルギーよりも小さいことを特徴とする請求項3若しくは請求項5又は請求項6の内のいずれか一項に記載の窒化物半導体多色発光素子の製造方法。